

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-102063

(43) 公開日 平成11年(1999)4月13日

(51) Int.Cl.⁹

識別記号

F I

G 0 3 F 1/08

C 0 3 F 1/08

A

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

S 0 2 P

S 2 8

審査請求 有 請求項の数7 OL (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平10-70992
(62) 分割の表示 特願平7-303118の分割
(22) 出願日 昭和63年(1988)11月22日

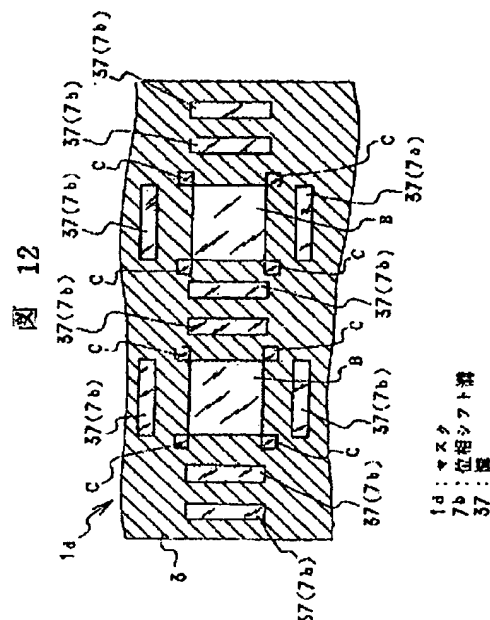
(71) 出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(72) 発明者 岡本 好彦
東京都青梅市新町六丁目16番地の3 株式
会社日立製作所デバイス開発センタ内
(74) 代理人 弁理士 筒井 大和

(54) 【発明の名称】 マスクの製造方法および半導体装置の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 光学マスク上に形成された複雑で、かつ、微細なパターンの転写精度を向上させる。

【解決手段】 マスク基板上に形成された回路パターン転写用の光の透過領域Bの近傍に、透過した光の干渉により光量が不足しないように、透過光がその透過領域Bを透過した光と同一位相となるようなサブ透過領域Cを設けたマスク1dを用いて、半導体ウエハ上のフォトリソ膜に集積回路パターンを転写する。



(2)

特開平11-102063

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1光透過領域と、前記第1光透過領域に接し透過光の位相が前記第1光透過領域を透過した光の位相に対して反転するような第2光透過領域とを有するマスクに光を照射して、縮小投影露光装置により半導体ウエハに回路パターンを露光する半導体装置の製造方法に用いるマスクの製造方法であって、透過光の位相がマスク基板を透過した光の位相に対して反転するような位相シフト膜が形成されたマスク基板上の前記位相シフト膜を、前記半導体ウエハ上に形成されるべき回路パターンまたはその反転パターンと平面的な形状が相似となるようにパターンニングする工程を有することを特徴とするマスクの製造方法。

【請求項2】 請求項1記載のマスクの製造方法において、前記位相シフト膜は、前記マスク基板とは異なる材質で形成されていることを特徴とするマスクの製造方法。

【請求項3】 請求項2記載のマスクの製造方法において、前記マスク基板を透過した光と、前記マスク基板および前記位相シフト膜を透過した光との干渉により、前記位相シフト膜の形成されていない領域を強調することを特徴とするマスクの製造方法。

【請求項4】 請求項1記載のマスクの製造方法において、前記第1光透過領域は、前記第2光透過領域を取り囲むように形成されており、前記第1光透過領域を透過した光と、前記第2光透過領域を透過した光との干渉により、前記第2光透過領域を強調することを特徴とするマスクの製造方法。

【請求項5】 請求項4記載のマスクの製造方法において、前記第1光透過領域には前記位相シフト膜は形成されておらず、前記第2光透過領域には前記位相シフト膜が形成されていることを特徴とするマスクの製造方法。

【請求項6】 マスク基板上に、透過光の位相を該マスク基板を透過した光の位相に対して反転させるような位相シフト膜が形成され、前記位相シフト膜が半導体ウエハ上に形成されるべき回路パターンまたはその反転パターンと平面的な形状が相似となるようにパターンニングされているマスクに対し、縮小投影露光装置を用いて光を照射し、前記位相シフト膜が形成されている領域と、前記位相シフト膜の形成されている領域に接する領域であって前記位相シフト膜が形成されていない領域とを透過した光の干渉により、前記半導体ウエハに回路パターンを露光することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項7】 請求項6記載の半導体装置の製造方法であって、前記マスク基板上の前記位相シフト膜が形成されている領域と、該位相シフト膜が形成されている領域に接する領域であって前記位相シフト膜が形成されていない領域を透過した光が、前記位相シフト膜が形成されている領域と前記位相シフト膜が形成されていない領域との境界部において互いに干渉して弱め合い、前記位相

シフト膜の形成されていない領域を強調することを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マスクの製造方法および半導体装置の製造技術に関し、特に、光学マスクを用いて所定の集積回路パターンを転写する露光技術に適用して有効な技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体集積回路においては、回路を構成する素子や配線の微細化、並びに素子間隔や配線間隔の狭小化が進められている。

【0003】しかし、このような素子や配線の微細化、並びに素子間隔や配線間隔の狭小化につれ、少なくとも部分的にコヒーレントな光の照射によって、半導体ウエハ（以下、ウエハという）上に集積回路パターンを転写するマスクのパターン転写精度の低下が問題となりつつある。

【0004】これを図18(a)～(d)により説明すると以下のとおりである。

【0005】すなわち、図18(a)に示すマスク50上の所定の集積回路パターンを投影露光法などによりウエハ（図示せず）上に転写する際、遮光領域Nを挟む一対の透過領域P1、P2の各々を透過した光の位相は、図18(b)に示すように同相であるため、これらの干渉光が図18(c)に示すように、上記した一対の透過領域P1、P2に挟まれた遮光領域Nにおいて強め合ってしまう。

【0006】このため、図18(d)に示すように、ウエハ上における光強度分布のモジュレーション(modulation)が低下してしまい、マスクのパターン転写精度が大幅に低下してしまう。

【0007】このような問題を改善する手段として、例えば、一対の透過領域の各々を透過した光の間に位相差を生じさせる位相推移マスクが提案されている。

【0008】位相推移マスクについては、例えば、特公昭62-59296号公報に記載があり、上記公報には、遮光領域と透過領域とを備えたマスクにおいて、遮光領域を挟む一対の透過領域の少なくとも一方に透明材料を設け、露光の際に各々の透過領域を透過した光の間に位相差を生じさせ、これらの光がウエハ上の本来遮光領域となる領域において干渉して強め合わないようにしたマスク構造について説明されている。

【0009】このようなマスクにおける透過光の作用を図19(a)～(d)により説明すると以下のとおりである。

【0010】すなわち、図19(a)に示すマスク51上の所定の集積回路パターンを投影露光法などによりウエハ（図示せず）上に転写する際、遮光領域Nを挟む一対の透過領域P1、P2のうち、透明材料52の設けら

(3)

特開平11-102063

れた透過領域P2を透過した光の位相と、通常の透過領域P1を透過した光の位相との間には、図19(b)、(c)に示すように180度の位相差が生じている。

【0011】したがって、一对の透過領域P1、P2を透過した光が、これら透過領域P1、P2に挟まれた遮光領域Nにおいて干渉して打ち消し合うため、図19

(d)に示すように、ウエハ上における光強度分布のモジュレーションが改善され、マスク51のパターン転写精度が良好となる。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】ところで、一对の透過領域を透過した光の間に位相差を生じさせる従来の技術は、パターンが一次的に単純に繰り返して配置されている場合には、透明材料の配置に問題はないが、実際の集積回路パターンのようにパターンが二次元的に配置されている場合、以下の問題があることを本発明者は見出した。

【0013】すなわち、従来の技術においては、一对の透過領域の各々を透過した光の間に位相差が生じるように透明材料を配置させるため、言い換えると、一对の透過領域の一方に透明材料を配置すると他方には透明材料を配置できないため、実際の集積回路パターンのようにパターン形状が複雑な場合、部分的に十分な解像度が得られないパターンが生じてしまう。例えば、図20に示すような集積回路パターン53がある場合、透過領域P2に透明材料を設ければ、確かに、遮光領域N1、N2の解像度は向上するが、透過領域P1または透過領域P3には、透明材料を設けることができないため、遮光領域N3の解像度の向上が計れない。

【0014】本発明の目的は、本発明の目的は、光学マスク上に形成された複雑で、かつ、微細なパターンの転写精度を向上させることのできる技術を提供することにある。

【0015】本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【0016】

【課題を解決するための手段】本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【0017】すなわち、本発明のマスクの製造方法は、第1光透過領域と、前記第1光透過領域に接し透過光の位相が前記第1光透過領域を透過した光の位相に対して反転するような第2光透過領域とを有するマスクに光を照射して、縮小投影露光装置により半導体ウエハに回路パターンを露光する半導体装置の製造方法に用いるマスクの製造方法であって、透過光の位相がマスク基板を透過した光の位相に対して反転するような位相シフト膜が形成されたマスク基板上的前記位相シフト膜を、前記半導体ウエハ上に形成されるべき回路パターンまたはその

反転パターンと平面的な形状が相似となるようにパターンニングする工程を有するものである。

【0018】また、本発明の半導体装置の製造方法は、マスク基板上に、透過光の位相を該マスク基板を透過した光の位相に対して反転させるような位相シフト膜が形成され、前記位相シフト膜が半導体ウエハに形成されるべき回路パターンまたはその反転パターンと平面的な形状が相似となるようにパターンニングされているマスクに対し、縮小投影露光装置を用いて光を照射し、前記位相シフト膜が形成されている領域と、前記位相シフト膜の形成されている領域に接する領域であって前記位相シフト膜が形成されていない領域とを透過した光の干渉により、前記半導体ウエハに回路パターンを露光するものである。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基いて詳細に説明する（なお、実施の形態を説明するための全図において同一機能を有するものは同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する）。

【0020】（実施の形態1）図1は本発明の一実施の形態であるマスクの要部断面図、図2(a)～(c)はこのマスクの製造工程を示すマスクの要部断面図、図3(a)は図1に示すマスクの露光状態を示す断面図、図3(b)～(d)はこのマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図である。

【0021】図1に示す本実施の形態1のマスク1aは、例えば、半導体装置の所定の製造工程において、図示しないウエハ上に所定の集積回路パターンを転写する、実寸の集積回路パターンの5倍の集積回路パターンの原画が形成されたレチクル（以下、5倍レチクルという）である。

【0022】マスク1aを構成する透明なマスク基板（以下、単に基板という）2は、例えば、屈折率1.47の合成石英ガラスからなり、その主面上には、例えば、厚さ500～3000Åの金属層3が所定の形状にパターン形成されている。

【0023】金属層3は、例えば、Cr層から、あるいはCr層の上に酸化Cr層が積層され構成されており、露光の際には、遮光領域Aとなる。また、金属層3が除去されている部分は、露光の際、透過領域Bとなる。そして、これら遮光領域Aと透過領域Bとによって集積回路パターンの原画が構成されている。

【0024】本実施の形態1においては、上記した金属層3のパターン幅よりも僅かに幅広となるようにパターン形成された透明膜4aが配置されている。すなわち、マスク1aには、各々の金属層3の輪郭部から透過領域Bに一部はみ出した透明膜4aがパターン形成されている。言い換えると、一つの透過領域Bは、透明膜4aに被覆された部分と透明膜4aの形成されていない部分とにより構成されている。

(4)

特開平11-102063

【0025】透明膜4aは、酸化インジウム(InO_x)などからなり、例えば、透過領域Bのパターン幅を $2\mu\text{m}$ とすると、はみ出した透明膜4aの幅は、 $0.5\mu\text{m}$ 程である。

【0026】そして、今仮に、はみ出した透明膜4aの基板2の主面からの厚さを $X1$ 、基板2の屈折率を n 、露光の際に照射される光の波長を λ とすると、透明膜4aは、その厚さ $X1$ が、 $X1 = \lambda / [2(n-1)]$ の関係を満たすように形成されている。これは露光の際、マスク1aに照射され、一つの透過領域Bを透過した光のうち、透明膜4aを透過した光の位相と、通常の透過領域Bを透過した光の位相との間に 180 度の位相差を生じさせるためである。例えば、露光の際に照射される光の波長 λ を、 $0.365\mu\text{m}$ (i線)、透明膜4aの屈折率を 1.5 とすると、透明膜4aの基板2の主面からの厚さ $X1$ を、約 $0.37\mu\text{m}$ とすればよい。

【0027】なお、図示はしないが、マスク1aには、例えば、透明膜4aを形成する際、金属層3との位置合わせをするための位置合わせマークが形成されている。

【0028】次に、本実施の形態1のマスク1aの製造方法を図2(a)～(c)により説明する。

【0029】まず、図2(a)に示すように、研磨、洗浄した透明な基板2の主面上に、例えば、厚さ $500\sim 3000\text{\AA}$ のCrなどからなる金属層3をスパッタリング法などにより形成し、次いで、この金属層3の上面に、例えば、 $0.4\sim 0.8\mu\text{m}$ のフォトリソスト5aを塗布する。

【0030】そして、フォトリソスト5aをアブレーションした後、予め、図示しない磁気テープなどにコード化され記録された半導体装置の集積回路パターンの位置座標、形状などが収められたパターンデータに基づいて、電子線露光方式などにより、フォトリソスト5aの所定部分に電子線Eを照射する。

【0031】その後、図2(b)に示すように、フォトリソスト5aの露光部分を所定の現像液により除去し、露出した金属層3をドライエッチング法などによりエッチングして所定の形状にパターン形成する。

【0032】そして、レジスト剝離液によりフォトリソスト5aを除去し、基板2を洗浄、検査した後、図2(c)に示すように基板2の主面に、基板2の主面からの厚さが約 $0.37\mu\text{m}$ の酸化インジウム(InO_x)等からなる透明膜4aを金属層3を被覆するようにスパッタリング法などにより形成する。

【0033】次いで、透明膜4aの上面に、例えば、 $0.4\sim 0.8\mu\text{m}$ のフォトリソスト5bを塗布し、さらにその上面に、例えば、厚さ $0.05\mu\text{m}$ のアルミニウム(A1)からなる帯電防止層6をスパッタリング法などにより形成する。

【0034】その後、上記した集積回路パターンのパターンデータにおいて、遮光領域A、または透過領域Bの

パターンの幅を拡大または縮小して得られた透明膜4aのパターンデータに基づいて、電子線露光方式などにより、例えば、透明膜4aを残す部分のフォトリソスト5bに電子線Eを照射し、露光する。

【0035】本実施の形態1においては、上記した透明膜4aのパターンデータは、例えば、遮光領域Aのパターン幅を太らせることにより、自動的に作成されるようになっている。すなわち、透明膜4aのパターンデータは、集積回路パターンのパターンデータを作成する時と同じように特別に作成するのではなく、集積回路パターンにおけるパターンデータに基づいて作成される。

【0036】そして、フォトリソスト5bを露光後、現像、透明膜4aの所定部分のエッチング、フォトリソスト5bの除去、さらに洗浄、検査などの工程を経て、図1に示したマスク1aが製造される。

【0037】このようにして製造されたマスク1aを用いて、フォトリソストが塗布されたウエハ上にマスク1a上の集積回路パターンを転写するには、例えば、次のようにする。

【0038】すなわち、図示しない縮小投影露光装置にマスク1a、及びウエハを配置して、マスク1a上の集積回路パターンの原画を光学的に $1/5$ に縮小してウエハ上に投影するとともに、ウエハを順次ステップ状に移動させるたびに繰り返し投影露光することによって、ウエハ全面に集積回路パターンの転写を行う。

【0039】次に、本実施の形態1の作用を図3(a)～(d)により説明する。

【0040】図3(a)に示す本実施の形態1のマスク1aにおいては、マスク1a上の所定の集積回路パターンの原画を縮小露光法などによりウエハ上に転写する際、マスク1aの各々の透過領域Bにおいて、透明膜4aを透過した光と、通常の透過領域Bを透過した光との間には 180 度の位相差が生じる(図3(b)、(c))。

【0041】そして、透明膜4aは、各金属層3の端部に配置されているため、一つの透過領域Bを透過した光のうち、透明膜4aを透過した光と通常の透過領域Bを透過した光とが、透過領域Bと隣接する遮光領域A、Aとの境界部分において弱め合う。

【0042】したがって、ウエハ上の光強度分布のモジュレーション(modulation)が大幅に改善される(図3(d))。特に、ウエハ上に投影される各々の遮光領域Aの端部のぼけが大幅に低減され、パターン転写精度を大幅に向上させることができる。なお、光強度は、光の振幅の2乗となるため、ウエハ上における光振幅の負側の波形は、図3(d)に示すように、正側に反転される。

【0043】ところで、従来の技術は、一対の透過領域を透過した光の間に位相差を生じさせる技術、言い換えると二つの透過領域で一つの作用を生じさせる技術であ

(5)

特開平11-102063

った。

【0044】そして、前記発明が解決しようとする課題で説明したように、実際の集積回路パターンのようにパターンが複雑で、かつ、二次元的に配置されている場合、部分的にパターン転写精度が低下してしまう部分が生じ、透明材料の配置に制約があった。

【0045】すなわち、マスク上のパターンの全てのパターン転写精度を向上させるような透明材料の配置が非常に困難であった。

【0046】したがって、透明材料のパターンデータを自動的に作成することができず、これを作成する場合には、パターン転写精度が部分的に低下しないようにその配置を考慮しながら、透明材料用の特別なパターンを設計、図面化し、このパターンをコンピュータ処理することによって作成しなければならない。

【0047】これに対して、本実施の形態1のマスク1aにおいては、一つの透過領域を透過した光のなかで位相差を生じさせ、パターン転写精度を向上させる技術であるため、マスク1aに形成されたパターンが複雑であっても、それに対応して透明膜4aを配置できる。

【0048】そして、このため、透明膜4aの配置が容易であり、透明膜4aのパターンデータを集積回路パターンを構成する遮光領域A、または透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成することが可能となる。

【0049】このように本実施の形態によれば以下の効果を得ることができる。

【0050】(1). マスク1aの各々の透過領域Bにおいて、透明膜4aを透過した光と、通常の透過領域Bを透過した光との間に180度の位相差が生じ、これらの光が遮光領域Aと透過領域Bとの境界部分において弱め合うため、ウエハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される。特に、ウエハ上に投影される遮光領域Aのパターン像の端部のぼけが大幅に低減され、パターン転写精度を大幅に向上させることができる。

【0051】(2). 上記(1)により、マスク上に形成されたパターンが、微細、かつ複雑な集積回路パターンであっても、部分的にパターン転写精度が低下することがなく、パターン全ての転写精度を向上させることができる。

【0052】(3). 位相をシフトさせる透明膜4aは、一つの透過領域Bを透過した光の位相差のみを考慮する技術であるため、複雑な集積回路パターンであっても、その配置が容易となる。

【0053】(4). 上記(3)により、透明膜4aのパターンデータを、集積回路パターンを構成する遮光領域A、または透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成させることができる。

【0054】(5). 上記(3)、(4)により、透明膜4aのパターンデータを短時間で作成することができるため、

位相をシフトさせる透明膜4aの形成されたマスク1aの製造時間を大幅に短縮させることができる。

【0055】(実施の形態2) 図4は本発明の他の実施の形態であるマスクの要部断面図、図5(a)、(b)はこのマスクの製造工程を示すマスクの要部断面図、図6はこのマスクを製造する際に用いられる集束イオンビーム装置の構成図、図7(a)は図4に示すマスクの露光状態を示す断面図、図7(b)~(d)はこのマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図である。

【0056】図4に示す本実施の形態2のマスク1bにおいては、露光の際に透過領域Bを透過した光に位相差を生じさせる手段として、実施の形態1の透明膜4aに代えて、露光の際、透過領域Bとなる基板2に位相シフト溝7aが形成されている。

【0057】位相シフト溝7aは、露光の際、遮光領域Aとなる金属層3の端部に沿って、すなわち、金属層3の輪郭部に沿って形成されている。位相シフト溝7aの幅は、例えば、透過領域Bのパターン幅を2μmとすると、0.5μm程である。

【0058】そして、仮に、位相シフト溝7aの深さをd、基板2の屈折率をn、露光の際に照射される光の波長をλとすると、位相シフト溝7aは、その深さdが、 $d = \lambda / (2(n-1))$ の関係を満たすように形成されている。これは露光の際、マスク1bに照射された光の内、各々の透過領域Bにおいて、位相シフト溝7aを透過した光の位相と、通常の透過領域Bを透過した光の位相との間に180度の位相差を生じさせるためである。例えば、露光の際に照射される光の波長λを、0.365μm(i線)とすると、位相シフト溝7aの深さdを、約0.39μmとすればよい。

【0059】なお、図示はしないが、マスク1bには、位相シフト溝7aを形成する際、金属層3との位置合わせをする等のための位置合わせマークが形成されている。

【0060】次に、このマスク1bの製造に用いられる集束イオンビーム装置8を図6により説明する。

【0061】装置本体の上部に設けられたイオン源9の内部には、図示はしないが、例えば、ガリウム(Ga)等の溶融液体金属などが収容されている。イオン源9の下方には、引き出し電極10が設置されており、その下方には、静電レンズにより構成された第1レンズ電極11a、及び第1アパーチャ電極12aが設置されている。アパーチャ電極12aの下方には、第2レンズ電極11b、第2アパーチャ電極12b、ビーム照射のON、OFFを制御するブランキング電極13、さらに第3アパーチャ電極12c、及び偏向電極14が設置されている。

【0062】このような各電極の構成によって、イオン源9から放出されたイオンビームは、上記ブランキング

(6)

特開平11-102063

電極13、及び偏向電極14によって制御され、保持器15に保持されるパターン形成前のマスク1bに照射されるようになっている。

【0063】なお、イオンビームは、その走査の際に、例えば、 $0.02 \times 0.02 \mu\text{m}$ のピクセル単位毎に、ビーム照射時間を設定し、走査回数を予め設定することで、金属層3、または基板2をエッチング加工できる。

【0064】保持器15は、X、Y方向に移動可能な試料台16上に設置されており、試料台16は、傍部に設けられたレーザーミラー17を介してレーザー干渉測長器18によってその位置認識が行われ、試料台駆動モータ19によってその位置合わせが行われるようになっている。

【0065】なお、保持器15の上方には、二次イオン・二次電子検出器20が設置されており、被加工物からの二次イオン、及び二次電子の発生を検出できるようになっている。また、上記した二次イオン・二次電子検出器20の上方には、電子シャワー放射部21が設置されており、被加工物の帯電を防止できるようになっている。

【0066】以上に説明した処理系内部は、図中、上記した試料台16の下方に示された真空ポンプ22によって真空状態が維持される構造となっている。

【0067】また、上記した各処理系は、装置本体の外部に設けられた各制御部23～27によってその作動が制御されており、各制御部23～27は、さらに各インターフェイス部28～32を介して制御コンピュータ33によって制御される構造となっている。制御コンピュータ33は、ターミナル34、データを記録する磁気ディスク装置35、及びMTデッキ36を備えている。

【0068】次に、マスク1bの製造方法を図5(a)、(b)、及び図6により説明する。

【0069】まず、図5(a)に示すように、研磨、洗浄した基板2の主面に、例えば、 $500 \sim 3000 \text{ \AA}$ の金属層3をスパッタリング法などにより形成した後、マスク1bを集束イオンビーム装置8の保持器15に保持させる。

【0070】次いで、イオン源9からイオンビームを放出し、このイオンビームを上記各電極により、例えば、 $0.5 \mu\text{m}$ のビーム径に集束すれば、 $1.5 \mu\text{A}$ 程度のイオンビーム電流が得られ、予めMTデッキ36の磁気テープに記録された集積回路パターンのパターンデータに基づいて金属層3の所定部分に集束されたイオンビームを照射し金属層3をエッチングする。この際、ピクセル当たりの照射時間は、例えば、 3×10^{-6} 秒、ビームの走査回数は、30回程度である。このようにして、図5(b)に示すように、金属層3がパターン形成される。なお、金属層3のパターン形成は、実施の形態1のように電子線露光法などによっても良い。

【0071】その後、マスク1bに形成された図示しな

い位置合わせマークに所定量のイオンビームを照射し、発生した二次電子を二次イオン・二次電子検出器20により検出して、その検出データにより位置合わせマークの位置座標を算出する。

【0072】そして、算出された位置合わせマークの位置座標をもとに、イオンビーム照射の際にイオンビームが位相シフト溝7aを形成する位置に照射されるように、試料台16を移動させる。

【0073】次いで、位相シフト溝7aのパターンデータに基づいて、金属層3の端部に沿って金属層3のパターン形成により露出した基板2にイオンビームを照射し、位相シフト溝7a(図4)を形成する。この際、集束イオンビームによれば、位相シフト溝7aの深さ、幅などの制御を容易に行える。

【0074】本実施の形態2においては、上記した位相シフト溝7aのパターンデータは、例えば、集積回路パターンのパターンデータをボジネガ反転させ得られた透過領域Bのパターンデータと、遮光領域Aのパターン幅を太らせて得られたパターンデータとの論理積(AND)をとることによって自動的に作成されるようになっている。

【0075】すなわち、位相シフト溝7aのパターンデータは、特別に作成するのではなく、集積回路パターンのパターンデータに基づいて自動的に作成される。

【0076】このようにして製造されたマスク1bを用いて、フォトリソが塗布されたウエハ上にマスク1b上の集積回路パターンを転写するには、例えば、次のようにする。

【0077】すなわち、図示しない縮小投影露光装置にマスク1b、及びウエハを配置して、マスク1b上の集積回路パターンを光学的に1/5に縮小してウエハ上に投影するとともに、ウエハを順次ステップ状に移動させるたびに繰り返し投影露光することによって、ウエハ全面に集積回路パターンの転写を行う。

【0078】次に、本実施の形態2のマスク1bの作用を図7(a)～(d)により説明する。

【0079】図7(a)に示すマスク1b上の所定の集積回路パターンの原画を転写する露光工程の際、マスク1bの各々の透過領域Bにおいて、位相シフト溝7aを透過した光と、通常の透過領域Bを透過した光との間には、180度の位相差が生じる(図7(b)、(c))。

【0080】そして、位相シフト溝7aは、各金属層3の端部に配置されているため、一つの透過領域Bを透過した光のうち、位相シフト溝7aを透過した光と通常の透過領域Bを透過した光とが、透過領域Bに隣接する遮光領域A、Aとの境界部分において弱め合う。

【0081】したがって、ウエハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される(図7(d))。特に、ウエハ上に投影される各々の遮光領域Aの端部のば

(7)

特開平11-102063

けが大幅に低減され、ウエハ上に投影されるパターンの転写精度が大幅に向上する。

【0082】なお、光強度は、光の振幅の2乗となるため、ウエハ上における光振幅の負側の波形は、図7(d)に示すように、正側に反転される。

【0083】また、本実施の形態2のマスク1bにおいても、実施の形態1と同じように、一つの透過領域Bを透過した光における位相差のみを考慮する技術であるため、マスク1b上に複雑な集積回路パターンが形成されていても、位相シフト溝7aの配置が容易であり、位相シフト溝7aのパターンデータを集積回路パターンを構成する透光領域A、または透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成することが可能となる。

【0084】しかも、本実施の形態2のマスク1bにおいては、その製造の際、実施の形態1で説明した位相をシフトさせる透明膜4aを形成する工程がない上、集束イオンビームによって金属層3をパターンニングする際、併せて位相シフト溝7aも形成してしまうため、その製造時間をさらに短縮させることができる。

【0085】このように実施の形態2によれば以下の効果を得ることができる。

【0086】(1).マスク1bの各々の透過領域Bにおいて、位相シフト溝7aを透過した光と、通常の透過領域Bを透過した光との間に180度の位相差が生じ、これら光が透光領域Aと透過領域Bとの境界部分において弱め合うため、ウエハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される。特に、ウエハ上に投影される透光領域Aのパターン像の端部のぼけが大幅に低減され、パターン転写精度を大幅に向上させることができる。

【0087】(2).上記(1)により、マスク上に形成されたパターンが、微細、かつ複雑な集積回路パターンであっても、部分的にパターン像の転写精度が低下することがなく、パターン全ての転写精度を向上させることができる。

【0088】(3).位相シフト溝7aは、一つの透過領域Bを透過した光の位相差のみを考慮する技術であるため、複雑な集積回路パターンであっても、その配置が容易である。

【0089】(4).上記(3)により、位相シフト溝7aのパターンデータを集積回路パターンを構成する透光領域A、または透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成することができるため、その作成が容易であり、マスク1bを短時間で製造することができる。

【0090】(5).マスク1bにおいては、その製造の際、実施の形態1で説明した位相をシフトさせる透明膜4aを形成する工程がない上、集束イオンビームによって金属層3をパターンニングする際、併せて位相シフト溝7aも形成してしまうため、その製造時間をさらに短縮させることができる。

【0091】(6).マスク1bにおいては、透明膜4aが

パターン形成後の洗浄工程などにより劣化しないため、その寿命を大幅に向上させることができる。

【0092】(実施の形態3)図8は本発明のさらに他の実施の形態であるマスクの要部断面図、図9はこのマスクの要部平面図、図10(a)は図8、及び図9のマスクの露光状態を示す断面図、図10(b)～(d)はこのマスクの透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図である。

【0093】まず、図8、及び図9により本実施の形態3のマスク1cを説明する。なお、本実施の形態3においては、図9に示すように透過領域Bの形状を矩形状として説明する。

【0094】本実施の形態3のマスク1cは、例えば、半導体装置の所定の製造工程において図示しないウエハ上に所定の集積回路パターンを転写する5倍レチクルであり、透光領域Aを構成する金属層3には、この金属層3の上面から基板2の主面に達する複数の溝37が設けられている。

【0095】そして、溝37は、図9に示すように、矩形状の透過領域B、Bを囲むように、透過領域Bの各辺に沿って平行に配置されている。なお、例えば、溝37の幅は、0.5 μ m程である。

【0096】さらに、溝37の上部には、例えば、屈折率が1.5の酸化インジウム(In₂O₃)からなる透明膜4bが設けられており、露光の際に、この透明膜4b、及び溝37を透過した光と、透過領域Bを透過した光との間に位相差が生じる構造となっている。

【0097】そして、透明膜4bの基板2の主面からの厚さX2は、実施の形態1と同じく、露光の際、マスク1cに照射された光のうち、透明膜4b、及び溝37を透過した光の位相と、透過領域Bを透過した光の位相との間に180度の位相差を生じさせるため、 $X2 = \lambda / [2(n-1)]$ の関係を満たすように形成されている。例えば、露光の際に照射される光の波長 λ を、0.365 μ m(i線)とすると、透明膜4bの基板2の主面からの厚さX2を、約0.37 μ mとすればよい。

【0098】なお、図示はしないが、マスク1cには、例えば、溝37や透明膜4bを形成する際、それらと金属層3との位置合わせをするための位置合わせマークが形成されている。

【0099】このようなマスク1cを製造するには、例えば、次のようにする。

【0100】まず、研磨、洗浄した基板2の主面を覆うように、例えば、500～3000Åの金属層3をスパッタリング法などにより形成した後、これを実施の形態2で説明した集束イオンビーム装置8の保持器15に保持させる。

【0101】次いで、予めMTデッキ36の磁気テープに記録されている集積回路パターンデータに基づいて、基板2の主面を覆う金属層3をイオンビームによりパタ

(8)

特開平11-102063

ーン形成する。

【0102】その後、同じくMTデッキ36の磁気テープに予め記録されている溝37のパターンデータに基づいて、基板2の主面上の金属層3にイオンビームを照射し、金属層3に溝37を形成する。この溝37のパターンデータは、例えば、矩形の透過領域Bに対する溝37の配置規則を設定しておくことで、自動的に作成されるようになっている。

【0103】そして、集積回路パターンのパターンデータと溝37のパターンデータとに基づいて作成された透明膜4bのパターンデータに基づいて、実施の形態1と同様にして透明膜4bを形成する。

【0104】次に本実施の形態3の作用を図10(a)～(d)により説明する。

【0105】図10(a)に示すマスク1c上の所定の集積回路パターンの原画を縮小露光法などによりウエハ上に転写する際、マスク1cの各々の透過領域Bにおいて、透明膜4b、及び溝37を透過した光と、透過領域Bを透過した光との間には、180度の位相差が生じる(図10(b)、(c))。

【0106】そして、一つの透過領域Bを透過した光のうち、透明膜4b、及び溝37を透過した光と、透過領域Bを透過した光とが、透過領域Bに隣接する遮光領域A、Aの端部において弱め合う。

【0107】したがって、ウエハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される(図10(d))。特に、ウエハ上に投影される各々の遮光領域Aの端部のぼけが大幅に低減され、ウエハ上に投影されるパターンの転写精度が大幅に向上する。

【0108】なお、光強度は、光の振幅の2乗となるため、ウエハ上における光振幅の負側の波形は、図10(d)に示すように、正側に反転される。

【0109】また、本実施の形態3のマスク1cにおいても、一つの透過領域Bを透過した光における位相差のみを考慮すれば良いため、溝37、及び透明膜4bの配置が容易であり、溝37、及び透明膜4bのパターンデータを、集積回路パターンを構成する矩形の透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成することができる。

【0110】このように本実施の形態によれば以下の効果を得ることができる。

【0111】(1)、マスク1cの各々の透過領域Bにおいて、透明膜4b、及び溝37を透過した光と、透過領域Bを透過した光との間に180度の位相差が生じ、これら光が遮光領域Aの端部において弱め合うため、ウエハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される。特に、ウエハ上に投影される遮光領域Aのパターン像の端部のぼけが大幅に低減され、パターン転写精度を大幅に向上させることができる。

【0112】(2)、上記(1)により、マスク上に形成され

たパターンが、微細、かつ複雑な集積回路パターンであっても、部分的にパターン転写精度が低下することがなく、そのパターン全ての転写精度を向上させることができる。

【0113】(3)、位相をシフトさせる透明膜4b、及び溝37は、一つの透過領域Bを透過した光の位相差のみを考慮する技術であるため、複雑な集積回路パターンであっても、その配置が容易となる。

【0114】(4)、上記(3)により、溝37、及び透明膜4bのパターンデータを、集積回路パターンを構成する遮光領域A、または透過領域Bのパターンデータに基づいて自動的に作成させることができる。

【0115】(5)、上記(3)、(4)により、透明膜4bのパターンデータを短時間で作成することができるため、位相をシフトさせる透明膜4b、溝37の形成されたマスク1cを短時間で製造することができる。

【0116】(実施の形態4)図11は本発明のさらに他の実施の形態を示すマスクの要部断面図、図12はこのマスクの要部平面図、図13(a)は図11、及び図12のマスクの露光状態を示す断面図、図13(b)～(d)は透過領域を透過した光の振幅、及び強度を示す説明図である。

【0117】まず、図11、及び図12により本実施の形態4のマスク1dを説明する。

【0118】本実施の形態4のマスク1dにおいては、露光の際、溝37を透過した光と透過領域Bを透過した光との間に位相差を生じさせる手段として、実施の形態3の透明膜4bに代えて、溝37の下部の基板2に位相シフト溝7bを形成している。

【0119】位相シフト溝7bの深さdは、実施の形態2と同じく、露光の際、マスク1bに照射された光のうち、溝37、及び位相シフト溝7bを透過した光の位相と、透過領域Bを透過した光の位相との間に180度の位相差を生じさせるため、 $d = \lambda / [2(n-1)]$ の関係を満たすように形成されている。例えば、光の波長 λ を、 $0.365\mu\text{m}$ (i線)とすると、位相シフト溝7bの深さdを、約 $0.39\mu\text{m}$ とすればよい。

【0120】さらに、本実施の形態4においては、図12に示すように、矩形の透過領域Bの四隅に、例えば、 $0.5 \times 0.5\mu\text{m}$ の矩形の微小のサブ透過領域(同位相補助透過領域)Cを設けている。これは、集積回路パターンの微細化につれ、現像後にウエハ上に形成されるパターンラインの四隅などが、マスク上の集積回路パターンの原画と異なり直角にならず丸みを帯びてしまうといった不具合を防止するためである。すなわち、集積回路パターンにおいて、最も光強度が低下し易く、歪みが大きくなっていく角部に、サブ透過領域Cを設け、角部付近の光強度を増加させ投影されるパターン像を補正している。

【0121】なお、図示はしないが、マスク1dには、

(9)

特開平11-102063

例えば、溝37やサブ透過領域Cを形成する際、それらと金属層3との位置合わせをするための位置合わせマークが形成されている。

【0122】また、このようなマスク1dを製造するには、イオンビームにより金属層3をエッチングして溝37を形成する際、イオンビームの走査回数を増やし、基板2を深さdだけエッチングしてやれば良い。

【0123】次に、本実施の形態4の作用を図13(a)～(d)により説明する。

【0124】図13(a)に示すマスク1d上の所定の集積回路パターン原画を縮小露光法などによりウエハ上に転写する際、マスク1dの各々の透過領域Bにおいて、溝37、及び位相シフト溝7bを透過した光と、透過領域Bを透過した光との間には、180度の位相差が生じる(図13(b)、(c))。

【0125】そして、一つの透過領域Bを透過した光のうち、溝37、及び位相シフト溝7bを透過した光と、透過領域Bを透過した光とが、透過領域Bに隣接する遮光領域A、Aの端部において弱め合う。

【0126】したがって、ウエハ上の光強度分布のモジュレーションが大幅に改善される(図13(d))。特に、ウエハ上に投影される各々の遮光領域Aの端部のぼけが大幅に低減される上、矩形状の透過領域Bの角部に形成されたサブ透過領域Cにより角部付近の光強度が増加されるため、ウエハ上に投影されるパターン像の転写精度がさらに向上する。

【0127】なお、光強度は、光の振幅の2乗となるため、ウエハ上における光振幅の負側の波形は、図13(d)に示すように、正側に反転される。

【0128】また、本実施の形態4のマスク1dにおいても、一つの透過領域Bを透過した光における位相差のみを考慮すれば良いため、溝37の配置が容易であり、溝37のパターンデータを、集積回路パターンを構成する矩形状の透過領域Bのパターンに対して、溝37の配置規則を設定しておくことにより、自動的に作成することが可能である。

【0129】本実施の形態4においては、実施の形態3の(1)～(5)で示した効果の他に、マスク1dの製造の際、実施の形態3で説明した位相をシフトさせる透明膜4bを形成する工程がない上、集束イオンビームによって金属層3をパターンニングする際、併せて位相シフト溝7bも形成できるため、その製造時間をさらに短縮させることができる。

【0130】そして、マスク1dにおいては、実施の形態3におけるマスク1cの透明膜4bの形成後の洗浄工程などによる劣化がないため、マスク1dの寿命を大幅に向上させることができる。

【0131】以上、本発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱し

ない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。

【0132】例えば、実施の形態1のマスクにおいては、位相をシフトさせる透明膜を金属層の輪郭部から透過領域の一部はみ出すように配置させた場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、図14に示すマスク1eのように、透過領域Bの中央付近に透明膜4cを配置しても良い。

【0133】この場合においても、図16(a)～(d)で示すように、マスク1e(図16(a))の各々の透過領域B、Bにおいて、透明膜4cを透過した光と、通常の透過領域Bを透過した光との間には180度の位相差が生じ(図16(b)、(c))、一つの透過領域Bを透過した光のうち、透明膜4cを透過した光と通常の透過領域Bを透過した光とが、透過領域Bと隣接する遮光領域A、Aとの境界部分において弱め合うため、ウエハ上の光強度分布のモジュレーション(modulation)が大幅に改善される(図16(d))。

【0134】そして、この場合の透明膜4cのパターンデータは、例えば、集積回路パターンのパターンデータをボジネガ反転させて得られた遮光領域のパターンを細らせることにより作成すれば良い。

【0135】また、実施の形態2のマスクにおいては、位相シフト溝を金属層の端部に沿って配置した場合について説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、図15に示すマスク1fのように、透過領域Bの中央付近に位相シフト溝7cを形成、配置しても良い。この場合も、図16(b)～(d)で示した作用と同じ作用が得られる。

【0136】また、例えば、メモリセルのように集積回路パターンが単純に配置されるような部分においては、図17に示すマスク1gのように遮光領域Aを挟む一对の透過領域B、Bの少なくとも一方に位相シフト溝7dを形成しても良い。

【0137】これは、光の位相をシフトさせる意味においては、従来的一对の透過領域の一方に透明膜を設ける技術と同じであるが、透明材料を設けないため、その製造時間を大幅に短縮させることができる上、透明材料の形成後の洗浄などによる劣化がないため、マスクの寿命を大幅に向上させることができる効果がある。

【0138】また、実施の形態3、4においては、透過領域を矩形とした場合について説明したが、これに限定されるものではなく、複雑な形状であってもそれに対応することができる。

【0139】また、実施の形態1、3において、透明膜を酸化インジウムとした場合について説明したが、これに限定されるものではなく、フッ化マグネシウム、ポリメチルメタクリレートなどでも良い。

【0140】以上の説明では主として本発明者によってなされた発明をその背景となった利用分野である半導体装置の製造工程に用いられるマスクに適用した場合につ

(10)

特開平11-102063

いて説明したが、これに限定されず種々適用可能であり、フォトリソグラフィ技術により、所定の基板上に微細、かつ複雑なパターンを転写させることを必要とする技術分野に適用可能である。

【0141】

【発明の効果】本願によって開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、以下の通りである。

【0142】すなわち、本発明によれば、位相シフト膜を、半導体ウエハ上に形成されるべき回路パターンまたはその反転パターンと平面的な形状が相似するようにパターンニングすることにより、位相シフト膜のパターンデータを、集積回路パターンのパターンデータに基づいて自動的に作成させることができるので、位相シフト膜のパターンデータを短時間で作成することができる。このため、位相シフト膜を有するマスクの製造時間を大幅に短縮させることが可能となる。したがって、半導体装置の製造工程に際して、そのマスクを用いて露光処理を行うことにより、半導体装置の開発期間を短縮することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態である光学マスクの要部断面図である。

【図2】(a)～(c)はこの光学マスクの製造工程を示す光学マスクの要部断面図である。

【図3】(a)は図1の光学マスクの露光状態を示す断面図であり、(b)～(d)はこの光学マスクの透過領域を透過した光の振幅及び強度を示す説明図である。

【図4】本発明の他の実施の形態である光学マスクの要部断面図である。

【図5】(a)、(b)はこの光学マスクの製造工程を示す光学マスクの要部断面図である。

【図6】この光学マスクを製造する際に用いられる集束イオンビーム装置の構成図である。

【図7】(a)は図4の光学マスクの露光状態を示す断面図であり、(b)～(d)はこの光学マスクの透過領域を透過した光の振幅及び強度を示す説明図である。

【図8】本発明のさらに他の実施の形態である光学マスクの要部断面図である。

【図9】この光学マスクの要部平面図である。

【図10】(a)は図8及び図9の光学マスクの露光状態を示す断面図であり、(b)～(d)はこの光学マスクの透過領域を透過した光の振幅及び強度を示す説明図である。

【図11】本発明のさらに他の実施の形態を示す光学マスクの要部断面図である。

【図12】この光学マスクの要部平面図である。

【図13】(a)は図11及び図12の光学マスクの断面図であり、(b)～(d)はこの光学マスクの透過領域を透過した光の振幅及び強度を示す説明図である。

【図14】本発明のさらに他の実施の形態である光学マスクの要部断面図である。

【図15】本発明のさらに他の実施の形態である光学マスクの要部断面図である。

【図16】(a)は図14の光学マスクの露光状態を示す断面図であり、(b)～(d)は図14で示した光学マスクの透過領域を透過した光の振幅及び強度を示す説明図である。

【図17】本発明のさらに他の実施の形態である光学マスクの要部断面図である。

【図18】(a)は従来の光学マスクの露光状態を示す断面図であり、(b)～(d)は従来の光学マスクの透過領域を透過した光の振幅及び強度を示す説明図である。

【図19】(a)は従来の光学マスクの露光状態を示す断面図であり、(b)～(d)は従来の光学マスクの透過領域を透過した光の振幅及び強度を示す説明図である。

【図20】従来の光学マスクを示す部分平面図である。

【符号の説明】

- 1 a～1 g マスク
- 2 マスク基板
- 3 金属層
- 4 a～4 c 透明膜
- 5 a, 5 b フォトリソ
- 6 帯電防止層
- 7 a～7 d 位相シフト溝
- 8 集束イオンビーム装置
- 9 イオン源
- 10 引き出し電極
- 11 a, 11 b 第1、第2レンズ電極
- 12 a～12 c 第1～第3アパーチャ電極
- 13 ブランキン
- 14 偏向電極
- 15 保持器
- 16 試料台
- 17 レーザーミラー
- 18 レーザー干渉測長器
- 19 試料台駆動モータ
- 20 二次イオン・二次電子検出器
- 21 電子シャワー放射部
- 22 真空ポンプ
- 23～27 制御部
- 28～32 インターフェイス部
- 33 制御コンピュータ
- 34 ターミナル
- 35 磁気ディスク装置
- 36 MTデッキ
- 37 溝
- A 遮光領域

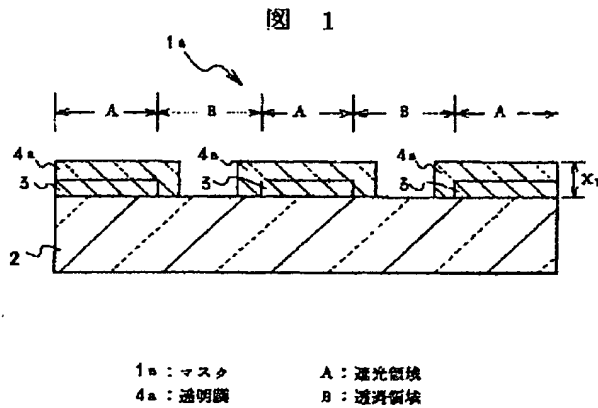
(11)

特開平11-102063

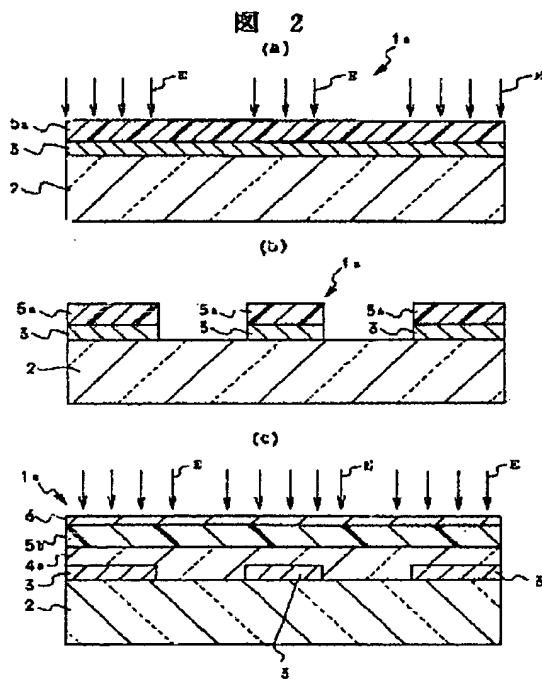
B 透過領域
C サブ透過領域（同位相補助透過領域）
E 電子線
50, 51 従来のマスク

52 透明材料
53 集積回路パターン
P1～P3 従来のマスクにおける透過領域
N～N3 従来のマスクにおける遮光領域

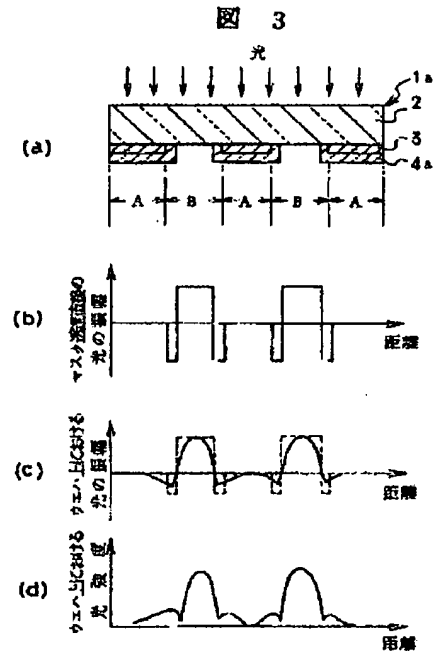
【図1】



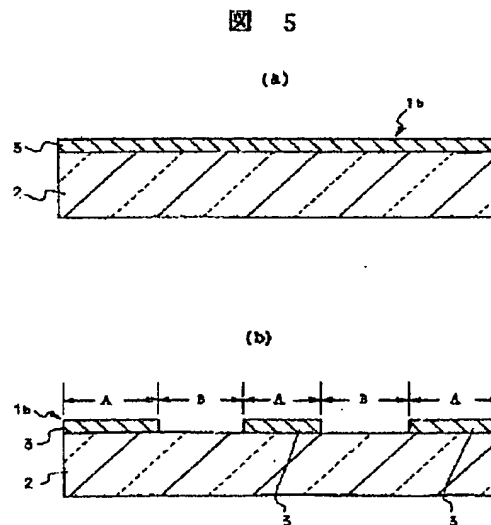
【図2】



【図3】



【図5】

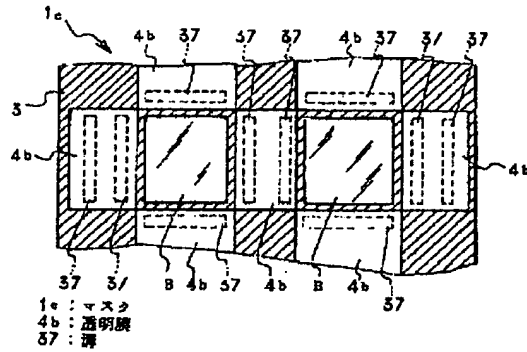


(13)

特開平11-102063

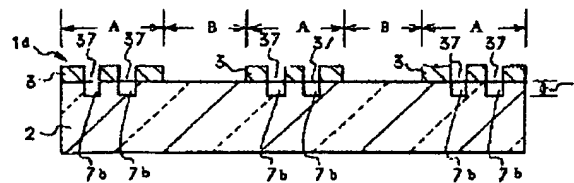
【図9】

図 9



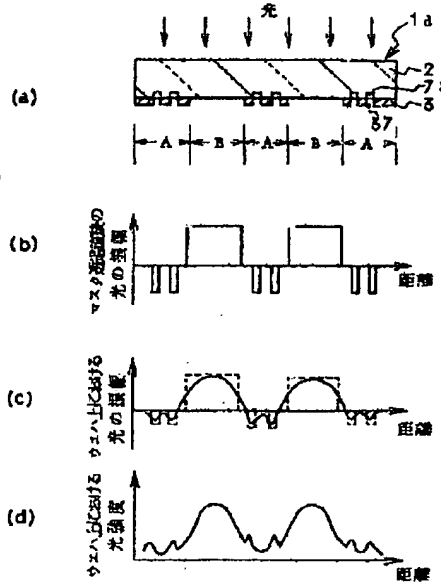
【図11】

図 11



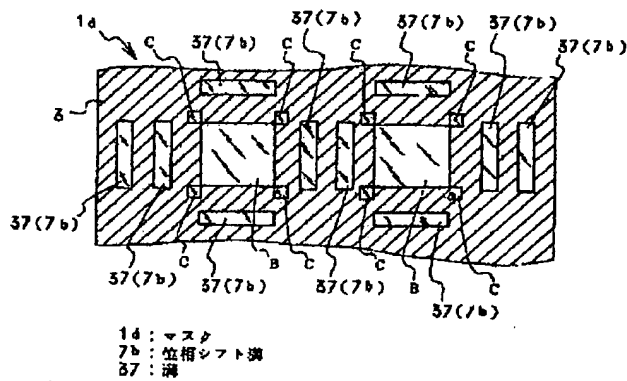
【図13】

図 13



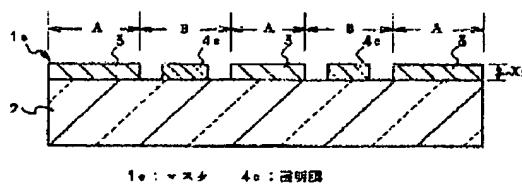
【図12】

図 12



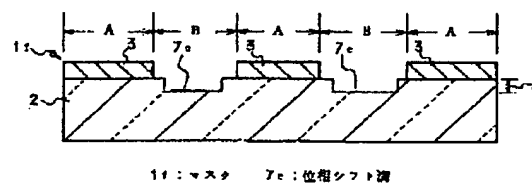
【図14】

図 14



【図15】

図 15

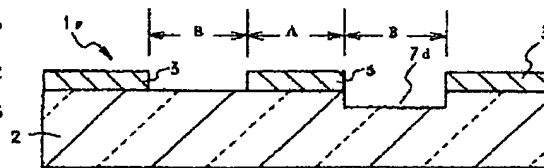
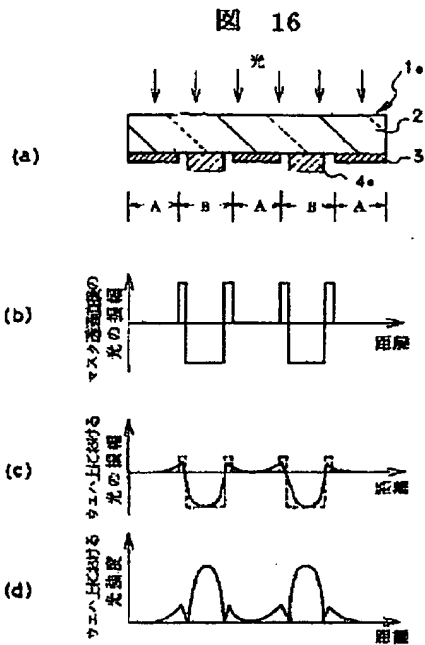


(14)

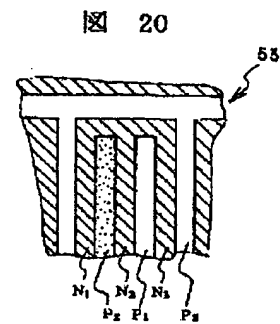
特開平11-102063

【図16】

【図17】



【図20】



【図18】

【図19】

